

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-199278

(43)Date of publication of application : 31.07.1997

(51)Int.Cl.

H05B 33/28
G09F 13/22
H01L 33/00

(21)Application number : 08-006785

(71)Applicant : TORAY IND INC

(22)Date of filing : 18.01.1996

(72)Inventor : HIMESHIMA YOSHIO
KOHAMA TORU
FUJIMORI SHIGEO

(54) LUMINESCENCE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a luminescence element in which high brightness luminescence is possible even at a low current and a low voltage, and stable drive is also possible by causing at least one of the positive electrode and the negative electrode of the luminescence element to be transparent, and limiting the roughness of its surface.

SOLUTION: In a luminescence element in which a substance controlling luminescence exists between a positive electrode and a negative electrode, and the luminescence is conducted by electric energy, at least one of the positive electrode and the negative electrode of the element is transparent, and the arithmetic mean roughness of its surface is 0.1 to 30nm measured by an interatomic force microscope. The arithmetic mean roughness is desirably 0.1 to 20nm, and is further desirably 4 to 10nm. It is desirable that the arithmetic mean roughness is measured after the conduction of UV-ozone treatment. As the transparent electrode, it is particularly desirable that the main component is indium-tin oxide.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 09.12.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-199278

(43) 公開日 平成9年(1997)7月31日

(51) IntCl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 B 33/28			H 0 5 B 33/28	
G 0 9 F 13/22			G 0 9 F 13/22	A
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	A

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-6785

(22) 出願日 平成8年(1996)1月18日

(71) 出願人 00003159

東レ株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(72) 発明者 姫島 義夫

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(72) 発明者 小濱 亨

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(72) 発明者 藤森 茂雄

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】 電気エネルギーの利用効率が高く長時間の駆動にも安定な発光素子を提供する。

【解決手段】 正極と負極の間に発光を司る物質が存在し、電気エネルギーにより発光する素子であって、該素子の正極および負極の少なくとも一方が透明な電極であり、その表面の算術平均粗さが原子間力顕微鏡で測定して0.1～30nmであることを特徴とする発光素子。

【特許請求の範囲】

【請求項1】正極と負極の間に発光を司る物質が存在し、電気エネルギーにより発光する素子であって、該素子の正極および負極の少なくとも一方が透明な電極であり、その表面の算術平均粗さが原子間力顕微鏡で測定して0.1～30nmであることを特徴とする発光素子。

【請求項2】算術平均粗さが原子間力顕微鏡で測定して0.1～20nmであることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項3】算術平均粗さが原子間力顕微鏡で測定して4～10nmであることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項4】算術平均粗さがUV-オゾン処理を施した後に測定されることを特徴とする請求項1～3記載の発光素子。

【請求項5】原子間力顕微鏡で測定した最大粗さが500nm以下であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項6】原子間力顕微鏡で測定した最大粗さが100nm以下であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項7】透明な電極がインジウム、錫、金、銀、亜鉛、アルミニウム、クロム、ニッケル、酸素、窒素、水素、アルゴン、炭素から選ばれる少なくとも一種の元素からなることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項8】透明な電極が酸化インジウム錫を主成分としてなることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項9】酸化インジウム錫を主成分としてなる透明電極が電子ビーム蒸着法によって形成されることを特徴とする請求項8記載の発光素子。

【請求項10】酸化インジウム錫を主成分としてなる透明電極がスパッタリング法によって形成されることを特徴とする請求項8記載の発光素子。

【請求項11】酸化インジウム錫を主成分としてなる透明電極がイオンプレーティング法によって形成されることを特徴とする請求項8記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気エネルギーを光に変換できる素子であって、表示素子、フラットパネルディスプレイ、バックライト、照明、インテリア、標識、看板、電子写真機などの分野に利用可能な面状発光体。

【0002】

【従来の技術】負極から注入された電子と正極から注入された正孔が両極に挟まれた有機蛍光体内で再結合する際に発光するという有機積層薄膜発光素子の研究が近年活発に行われるようになってきた。この素子は、薄型、低駆動電圧下での高輝度発光、蛍光材料を選ぶことによる多色発光が特徴であり注目を集めている。

【0003】この研究は、コダック社のC. W. Tangらが有機積層薄膜素子が高輝度に発光することを示して以来(Appl. Phys. Lett. 51 (12) 21, p. 913, 1987)、多くの研究機関が検討を行っている。コダック社の研究グループが提示した有機積層薄膜発光素子の代表的な構成は、ITOガラス基板上に正孔輸送性のジアミン化合物、発光層である8-ヒドロキシキノリンアルミニウム、そして負極としてMg:Agを順次設けたものであり、10V程度の駆動電圧で1000cd/m²の緑色発光が可能であった。現在の有機積層薄膜発光素子は、上記の素子構成要素の他に電子輸送層を設けているものなど構成を変えているものもあるが、基本的にはコダック社の構成を踏襲している。

【0004】従来、正孔注入を安定に容易ならしめるために多くの努力がなされている。これは、正孔の注入効率が素子の特性に大きく影響を与えるのみならず、素子の耐久性向上にも重要であるからである。しかし、その研究の大半は新しい正孔輸送材料に向けられており、その下地となる透明電極について開示された情報はそれほど多くはない。例えば、特開平7-6950号公報には半透明の電極の、発光層もしくは電荷注入輸送層と接触する表面の微結晶粒の大きさが500オングストローム以下であることが輝度むらがなく、発光安定性の高い新規有機EL素子を提供できるとしている。JOEM WORKS HOP 95「有機ELの到達点と実用化戦略を語る」の要旨集33頁にも素子の耐久性向上においてITO透明電極の表面粒径の重要性が記載されている。

【0005】また、ITOの表面処理方法としては、UV-オゾン洗浄の他、第41回応用物理学関係連合講演会28p-N-12には真空加熱処理したITOを用いた有機EL素子が高い性能を示すことが記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、粒径による前記指標に基づいた透明または半透明の電極を用いても高い発光効率で超寿命の素子特性を発現させることはできなかった。

【0007】本発明は、かかる問題を解決し、低電流低電圧下でも高輝度発光が可能で安定した駆動ができる素子を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、「正極と負極の間に発光を司る物質が存在し、電気エネルギーにより発光する素子であって、該素子の正極および負極の少なくとも一方が透明な電極であり、その表面の算術平均粗さが原子間力顕微鏡で測定して0.1～30nmであることを特徴とする発光素子」とするものである。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明において正極は、光を取り

出すために透明であればよく、その成分としては、インジウム、錫、金、銀、亜鉛、アルミニウム、クロム、ニッケル、酸素、窒素、水素、アルゴン、炭素から選ばれる少なくとも一種の元素からなることが多いが、ヨウ化銅、硫化銅などの無機導電性物質、ポリチオフェン、ポリピロール、ポリアニリンなどの導電性ポリマーなど特に限定されるものでない。本発明において好ましい例としては、酸化錫、酸化亜鉛、酸化インジウム、酸化錫インジウム (ITO) があげられるが、パターンニング加工などを施すディスプレイ用途などにおいては、加工性に優れた ITO が特に好適な例としてあげることができるが、表面抵抗を下げたり電圧降下抑制のために少量の銀や金などの金属が含まれていても良く、また、錫、金、銀、亜鉛、インジウム、アルミニウム、クロム、ニッケルをガイド電極として使用することも可能である。中でもクロムはブラックマトリックスとガイド電極の両方の機能を持たせることができることから好適な金属である。透明電極の抵抗は素子の発光に十分な電流が供給できればよいので限定されないが、素子の消費電力の観点からは低抵抗であることが望ましい。例えば $300\Omega/\square$ 以下の ITO 基板であれば素子電極として機能するが、現在では $10\Omega/\square$ 程度の基板の供給も可能になっていることから、低抵抗品を使用することが特に望ましい。ITO の厚みは抵抗値に合わせて任意に選ぶことができるが、通常 $100\sim 300\text{nm}$ の間で用いられることが多い。また、ガラス基板はソーダライムガラス、無アルカリガラスなどが用いられ、また厚みも機械的強度を保つのに十分な厚みがあればよいので、 0.7mm 以上あれば十分である。ガラスの材質については、ガラスからの溶出イオンが少ない方がよいので無アルカリガラスの方が好ましいが、 SiO_2 などのバリアコートをしたソーダライムガラスも市販されているのでこれを使用できる。ITO 膜形成方法は、電子ビーム法、スパッタリング法、化学反応法など特に制限を受けるものではない。

【0010】負極は、蒸着時に金属と反応させた有機物層と接触するものであり、電子を本有機物層に効率良く注入できる物質であれば特に限定されない。従って、低仕事関数金属の使用も可能であるが、電極の安定性を考えると、白金、金、銀、銅、鉄、錫、アルミニウム、インジウムなどの金属、またはこれら金属を用いた合金などが好ましい例として挙げられる。これらの電極の作製法も抵抗加熱、電子線、スパッタリング、イオンプレーティング、ペーストのコーティングなど導通を取ることができれば特に制限されないが、本発明では手軽にできる抵抗加熱蒸着法を使用している。

【0011】発光を司る物質とは、1) 正孔輸送層/発光層、2) 正孔輸送層/発光層/電子輸送層、3) 発光層/電子輸送層、そして、4) 以上の組み合わせ物質を一層に混合した形態のいずれであってもよい。即ち、素子

構成としては、上記 1) ~ 3) の多層積層構造の他に 4) のように発光材料単独または発光材料と正孔輸送材料および/または電子輸送材料を含む層を一層設けるだけでもよい。

【0012】正孔注入層は正孔輸送性物質単独で、あるいは正孔輸送性物質と高分子結着剤により形成され、正孔輸送性物質としては N , N' -ジフェニル- N , N' -ジ(3-メチルフェニル)-4, 4'-ジアミン (TPD) などのトリフェニルアミン類、 N -イソプロピルカルバゾールなどの 3 級アミン類、ピラゾリン誘導体、スチルベン系化合物、ヒドラゾン系化合物、オキサジアゾール誘導体やフタロシアニン誘導体に代表される複素環化合物、ポリマー系では前記単量体を側鎖に有するポリカーボネートやスチレン誘導体、ポリビニルカルバゾール、ポリシランなどが好ましいが特に限定されるものではない。

【0013】発光層材料は主に以前から発光体として知られていたアントラセンやピレン、そして前述の 8-ヒドロキシキノリンアルミニウムの他にも、例えば、ビススチリルアントラセン誘導体、テトラフェニルブタジエン誘導体、クマリン誘導体、オキサジアゾール誘導体、ジスチリルベンゼン誘導体、ピロロピリジン誘導体、ペリノン誘導体、シクロペンタジエン誘導体、オキサジアゾール誘導体、チアジアゾロピリジン誘導体、ポリマー系では、ポリフェニレンビニレン誘導体、ポリパラフェニレン誘導体、そして、ポリチオフェン誘導体などが使用できる。また発光層に添加するドーパントとしては、前述のルブレン、キナクリドン誘導体、フェノキサゾン 660、DCM1、ペリノン、ペリレン、クマリン 540 などがそのまま使用できる。

【0014】電子輸送性物質としては、電界を与えられた電極間において負極からの電子を効率良く輸送することが必要で、電子注入効率が高く、注入された電子を効率良く輸送することが望ましい。そのためには電子親和力が大きく、しかも電子移動度が大きく、さらに安定性に優れ、トラップとなる不純物が製造時および使用時に発生しにくい物質であることが要求される。このような条件を満たす物質として 8-ヒドロキシキノリンアルミニウム、ヒドロキシベンゾキノリンベリリウム、例えば 2-(4-ビフェニル)-5-(4-*t*-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジアゾール (*t*-BuPBD) などのオキサジアゾール系誘導体、薄膜安定性を向上させたオキサジアゾール二量体系誘導体の 1, 3-ビス(4-*t*-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジゾリル) ビフェニレン (OXD-1)、1, 3-ビス(4-*t*-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジゾリル) フェニレン (OXD-7)、トリアゾール系誘導体、フェナントロリン系誘導体などがある。

【0015】以上の正孔輸送層、発光層、電子輸送層に用いられる材料は単独で各層を形成することができる

が、高分子結着剤としてポリ塩化ビニル、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリ(N-ビニルカルバゾール)、ポリメチルメタクリレート、ポリブチルメタクリレート、ポリエステル、ポリスルホン、ポリフェニレンオキサイド、ポリブタジエン、炭化水素樹脂、ケトン樹脂、フェノキシ樹脂、ポリサルホン、ポリアミド、エチルセルロース、酢酸ビニル、ABS樹脂、ポリウレタン樹脂などの溶剤可溶性樹脂や、フェノール樹脂、キシレン樹脂、石油樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、アルキド樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂などの硬化性樹脂などに分散させて用いることも可能である。

【0016】発光を司る物質の形成方法は、抵抗加熱蒸着、電子ビーム蒸着、スパッタリング、分子積層法、コーティング法など特に限定されるものではないが、通常は、抵抗加熱蒸着、電子ビーム蒸着が特性面で好ましい。層の厚みは、発光を司る物質の抵抗値にもよるので限定することはできないが、経験的には10~1000nmの間から選ばれる。

【0017】電気エネルギーとは主に直流電流を指すが、パルス電流や交流電流を用いることも可能である。電流値および電圧値は特に制限はないが、素子の消費電力、寿命を考慮するとできるだけ低いエネルギーで最大の輝度が得られるようにするべきである。

【0018】本発明においては正極および負極の少なくとも一方が透明な電極であり、特定の算術平均粗さを有する。透明な電極とは、可視光の光線透過率が30%以上であれば使用に大きな障害はないが、理想的には100%に近い方が好ましい。ITO電極などは80%以上の光線透過率を示すものもあるが、表面抵抗が低いものは光線透過率が低いものが多いので、素子特性とのバランスを取りながら選択する必要がある。基本的には、透明な電極は可視光全域にわたってほぼ同程度の透過率を持つことが好ましい。これはある特定の波長にのみ吸収のある透明電極を使用した場合、実際の発光色が透明電極を透過することによって変化することがあるためである。従って、通常は発光色そのまま使用したいので平均的な透過率が必要となる。但し、色を変えたい場合は積極的に吸収を持たせることも可能であるが、通常はカラーフィルターや干渉フィルターを用いて変色させる方が技術的には容易である。

【0019】算術平均粗さとは、定量面で中心面から表面までの偏差の絶対値の平均値を示しており、Mean Roughnessと同一の意味で用いられる。本数値は、原子間力顕微鏡(AFM)によって測定することができるが、AFMを用いた場合、算術平均粗さの他にも自乗平均粗さや表面積を測定することができる。従って、有機EL素子に最適な表面粗さを持つ透明電極は、算術平均粗さ、自乗平均粗さ、表面積によって表現することができるが算術平均粗さが素子特性を一番よく表現できることがわ

かった。基本的な考え方は、粗過ぎても平坦過ぎても素子性能が低いということである。つまり、粗過ぎる場合は、透明電極の上部に形成される薄膜に欠点が生じ易くなり、素子特性が発現しないばかりか、耐久性も短くなる。また、平坦過ぎると有機層との密着性が低くまた駆動電圧が高くなる傾向にある。従って好ましい算術平均粗さは、0.1~30nmから選ばれることになるが、好ましくは、0.1~20nmであり、より好ましくは4~10nmである。

【0020】通常の場合、特にITOであれば比較的表面粗さの分布は一定になるので算術平均粗さが基準になるが、分布がばらつく場合は最大粗さも重要になる。即ち、特定の場所だけが非常に粗いとその部分には通常の有機EL素子が形成されず、極端な場合、正極である透明電極と負電極である金属が短絡してしまうような状況に陥ってしまう。このようになると素子内のリーク電流が急激に増加し、素子に電圧が掛からなくなって発光できなくなることさえある。また、耐久性に関しても正孔輸送材料はこの様な部分から結晶化を起こしているケースがある。従って、最大粗さは素子特性を左右する重要な指標である。通常、最大粗さは500nm以下であれば有機物によって被覆されることから良いが、好ましくは100nm以下であることが望まれる。

【0021】表面粗さを測定する場合、注意することがある。それは、表面の吸着物質を含めてITOの表面粗さとして測定してしまうことである。ITOの表面には様々の物質が吸着しており、一見ITOであるかのごとき形状を示すことがある。これは、ITO表面を注意深く洗浄することにより除去することができ、僅かに残った有機物はUV-オゾン処理で除去できる。UV-オゾン処理で見られるITOの表面形状変化の大半は、単にITOの表面に吸着した物質が取り除かれている場合が多い。従って、ITOの表面粗さを評価する場合は十分な洗浄とUV-オゾン処理を施してから測定することが好ましい。測定領域は、通常10μm角以上あればほぼ満足できる値が得られるが、できるだけ多くの値から平均を求める方が実際の素子特性との相関は良好になる。測定モードは、通常のコンタクトモードでもよいがより好ましくはタッピングモードを使用の方が信頼性のあるデータが得られる。

【0022】以上のような粗さを持つITO透明電極を作製するに当たっては、前述の通り電子ビーム法、スパッタリング法、イオンプレーティング法など特に限定されないが、それらの表面形状は作製法によって大きく異なる。例えば電子ビーム法で作製したITOは、剣山のような起伏のある表面形状をしているが、スパッタリング法で作製したITOは、雲母状のものが体積したような形状になっている。一般に表面抵抗が低いほど表面粗さが粗くなる傾向にあるが、これらの表面粗さは成膜条件具体的には酸素分圧、基板温度、蒸着速度によって制

御することができる。

【0023】以上、粗さと素子特性との関係を示したが、これは透明電極の上に形成される有機超薄膜の材料にも影響を受けることを忘れてはならない。今回示した数値は主にN, N'-ジフェニル-N, N'-ジ(3-メチルフェニル)-4, 4'-ジアミン(TPD)やビス(m-メチルフェニルカルバゾール)のような単量体を真空蒸着で蒸着して正孔輸送層を形成した時に特に当てはまることである。つまり、被覆性のよい材料を用いた場合は、透明電極の粗さが多少粗くても性能発現に大

【0024】

【実施例】以下、実施例および比較例をあげて本発明を説明するが、本発明はこれらの例によって限定されるものではない。

【0025】実施例1

ITO透明導電基板(電子ビーム蒸着品、15Ω/□、算術平均粗さ7.16nm)を3×4cmの大きさに切断、ITO部分をエッチング後、洗浄を行い、UV-オゾン処理を施した。これを真空蒸着装置内に固定して、装置内の真空度が 5×10^{-4} Pa以下になるまで排気した。正孔輸送材料であるビス(m-メチルフェニルカルバゾール)をタンタルボートから抵抗加熱方式によって0.3nm/秒の速度で90nm蒸着し、0.35wt%キナクリドン进行ドープした8-ヒドロキシキノリンアルミニウム(Alq3)を0.3nm/秒の速度で25nm、更にAlq3を0.3nm/秒の速度で55nmを順次蒸着した。ここで5×5mm角のステンレス製蒸着マスクをITOのパターンに合わせて真空中で装着し、リチウムを0.1nm/秒の速度で1nm、銀を0.5nm/秒の速度で15nmの厚さに蒸着した。得られた素子を電圧を変化させて電流値と輝度を測定したところ4.20V-0.80mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0026】実施例2

実施例1において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(10Ω/□、算術平均粗さ8.35nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、4.77V-0.38mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0027】実施例3

実施例1において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(19Ω/□、算術平均粗さ7.99nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、4.59V-0.52mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0028】実施例4

実施例1において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(10Ω/□、算術平均粗さ9.52nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、4.58V-0.52mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0029】実施例5

実施例1において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(9Ω/□、算術平均粗さ6.40nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、3.82V-0.50mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0030】実施例6

実施例1において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(7Ω/□、算術平均粗さ9.92nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、5.30V-1.39mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0031】実施例7

実施例1において、ITO透明導電基板をスパッタリング品(20Ω/□、算術平均粗さ1.61nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、4.95V-0.95mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0032】実施例8

実施例1において、ITO透明導電基板をスパッタリング品(18Ω/□、算術平均粗さ1.56nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、4.97V-0.82mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0033】実施例9

実施例1において、ITO透明導電基板をイオンプレーティング品(21Ω/□、算術平均粗さ2.35nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、3.53V-1.48mAで100cd/m²の発光が観測された。

【0034】実施例10

ITO透明導電基板(電子ビーム蒸着品、15Ω/□、算術平均粗さ7.16nm)を3×4cmの大きさに切断、ITO部分をエッチング後、洗浄を行い、UV-オゾン処理を施した。これを真空蒸着装置内に固定して、装置内の真空度が 5×10^{-4} Pa以下になるまで排気した。正孔輸送層として、銅フタロシアニン进行0.3nm/秒の速度で20nm蒸着し、主にN, N'-ジフェニル-N, N'-ジ(3-メチルフェニル)-4, 4'-ジアミン(TPD)进行0.3nm/秒の速度で250nm蒸着し、8-ヒドロキシキノリンアルミニウム(Alq3)进行0.3nm/秒の速度で100nm蒸着した。ここで5×5mm角のステンレス製蒸着マスクをITOのパターンに合わせて真空中で装着し、マグネシウム进行0.5nm/秒の速度で50nm、アルミニウム进行0.5nm/秒の速度で15nmの厚さに蒸着し、最後にキャッピング層を設けた。本素子を真空容器中で1mAで定電流駆動したところ、初期輝度は174cd/m²であり、1500時間後の輝度は65cd/m²であった。

【0035】実施例11

実施例10において、ITO透明導電基板を電子ビーム蒸着品(10Ω/□、算術平均粗さ13.10nm)に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、初期輝度は111cd/m²であり、171時間発光が観測された。

【0036】比較例

実施例 1 において ITO 透明導電基板を電子ビーム蒸着品 ($5\Omega/\square$ 、算術平均粗さ 32.1nm) に代えた以外は同様にして素子を作製したところ、素子はショートして発光が観測されなかった。

【0037】

【発明の効果】本発明は、電気エネルギーの利用効率が高く長時間の駆動にも安定な発光素子を提供できるものである。